

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開平11-159524

(43) 公開日 平成11年(1999) 6月15日

(51) Int. Cl. ° 識別記号

F16C 17/00

C04B 35/48

F16C 33/24

F I

F16C 17/00

33/24

C04B 35/48

A

A

C

審査請求 未請求 請求項の数 3 O L (全7頁)

(21) 出願番号 特願平9-329231

(22) 出願日 平成9年(1997)11月28日

(71) 出願人 000006633

京セラ株式会社

京都府京都市伏見区竹田鳥羽殿町6番地

(72) 発明者 岩本 邦治

鹿児島県川内市高城町1810番地 京セラ株式会社鹿児島川内工場内

(72) 発明者 中原 正博

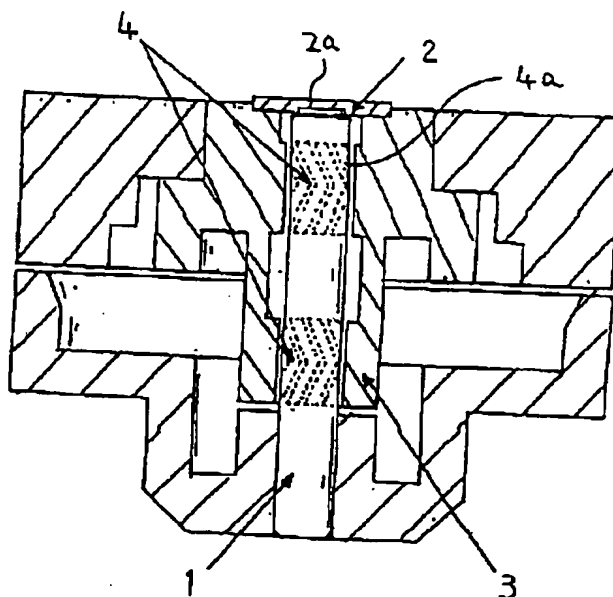
鹿児島県国分市山下町1番1号 京セラ株式会社鹿児島国分工場内

(54) 【発明の名称】 動圧軸受

(57) 【要約】 (修正有)

【課題】 温度変化が生じてても熱膨張差による不都合がなく、しかも、低速回転時に摺動しても相手材の摩耗を少なくできる動圧軸受を得る。

【解決手段】 ヤング率200GPa以上、熱膨張係数 $9.0 \sim 11.0 \times 10^{-6} / ^\circ\text{C}$  (40~400℃)、摺動相手材とのビッカース硬度の差が7GPa以下の範囲にあるセラミックスからなり、摺動面に動圧発生溝を備えて動圧軸受を構成する。上記セラミックとして、曲げ強度700MPa以上、平均結晶粒径4μm以下、理論密度に対する相対密度が98%以上のジルコニアセラミックスを用いる。また、動圧発生溝の底面の表面粗さ(Rmax)は1.5μm以下である。



**【特許請求の範囲】**

【請求項 1】 ヤング率が  $200\text{ GPa}$  以上、 $40\sim 400^\circ\text{C}$  における熱膨張係数が  $9.0\sim 11.0\times 10^{-6}/^\circ\text{C}$ 、摺動相手材とのビッカース硬度の差が  $7\text{ GPa}$  以下の範囲にあるセラミックスからなり、摺動面に動圧発生溝を備えたことを特徴とする動圧軸受。

【請求項 2】 上記セラミックスが、曲げ強度  $700\text{ MPa}$  以上、平均結晶粒径  $4\text{ }\mu\text{m}$  以下、理論密度に対する相対密度が  $98\%$  以上のジルコニアセラミックスからなることを特徴とする請求項 1 記載の動圧軸受。

【請求項 3】 上記動圧発生溝の底面の表面粗さ ( $R_{\text{max}}$ ) が  $1.5\text{ }\mu\text{m}$  以下であることを特徴とする請求項 1 記載の動圧軸受。

**【発明の詳細な説明】****【0001】**

【発明の属する技術分野】 本発明は、例えばレーザービームプリンターのポリゴンミラー、フロッピーディスクドライブ (FDD)、ハードディスクドライブ (HDD)、VTR、CD-ROM 等におけるシャフトの軸受に用いられる動圧軸受に関するものである。

**【0002】**

【従来の技術】 従来、シャフトの軸受は、玉軸受けと含油軸受けを積み重ねた構造をとっていたが、製品の薄型化、高性能化に伴い、種々の問題点が発生してきた。例えば、FDD 装置等のスピンドルモーターの薄型化をはかる場合など軸受けを短くする必要があるが、短くするにつれ軸振れが大きくなっていく。これにより、メディアの偏心が大きくなり、データ読み書きの信頼性が著しく低下する問題点が発生した。

【0003】 このような問題点の解決手段として、スパイラル溝等の動圧発生溝を形成した動圧軸受が開発された。これは、スパイラル溝が潤滑流体に与えるポンピング作用により、スピンドルモーターの回転に伴う油圧の上昇を得てシャフトを浮上させ、流体膜を形成して無接触で回転するものである。さらには、油圧によるセンタリング効果を与えることによりシャフトの偏心を著しく抑えることもできる。

【0004】 動圧軸受の構成としては、シャフトの外周またはスリーブ内面のいずれか一方に動圧発生溝を形成し、ラジアル方向の剛性を持つラジアル軸受と、シャフトの端面又はスラスト軸受の表面にスパイラル状の動圧発生溝を形成し、オイル、気体等の潤滑流体のポンピング作用によりスラスト方向の剛性を持つスラスト軸受とからなる。

【0005】 ここで、重要な要素はスラスト方向の動圧軸受である。即ち、縦型モータでのラジアル方向は、シャフトの外径とスリーブ内径がほぼ等しいため、接触により傷がついたり、摺動面が剥離することは殆ど無い。

【0006】 これに対し、スラスト方向の軸受は、回転部の自重とステータの吸引力等のスラスト力が全てシャ

フトとスラスト軸受の摺動面にかかることになり、スタート・ストップ時や、低速回転時に互いの摺動面が接触回転するため耐久性に対して重要な影響を持っている。また、この動圧軸受を構成するシャフト及び軸受はいずれも従来はステンレス等の焼き入れ材を使用していた。

【0007】 しかしながら、金属同志で構成される場合、金属同志の接触により摩耗が生じたり、また発生した摩耗粉が軸受の隙間に入り込んでかじり焼き付きを生じる等の問題がある。即ち、鋭い断面形状をした溝による起動時の複雑な接触問題 (溝エッジによる切削)、潤滑剤の挙動等により長期の使用において信頼性の面で問題を有していた。

【0008】 そこで、特開昭 63-163016 号公報等に示すように、この動圧軸受をセラミックスで形成することが提案されている。これは、動圧軸受を構成するシャフト又は軸受の一方をセラミックスで形成してその表面にショットブラスト法等で動圧発生溝を形成し、他方を金属材で形成したものであった。

**【0009】**

【発明が解決しようとする課題】 ところが、上記のようにシャフト又は軸受の一方をセラミックスで形成し、他方を金属で形成した場合、両者の特性の差による不都合が生じていた。例えば、セラミックスと金属材は熱膨張係数が異なるため、動圧軸受を用いるモーター等の内部の温度が  $100^\circ\text{C}$  まで上がるような場合、両者の隙間の大きさが変化してモーターの回転に支障を生じる等の不都合があった。

【0010】 また、金属材に比べてセラミックスは硬度が非常に高いため、低速回転時などに両者が摺動すると、金属材側が大きく摩耗してしまうという問題があった。なお、この問題を解決するために、摺動する両方の部材をセラミックスで形成することも考えられるが、両方を同じ材質で形成するとかえって摩耗しやすくなるという不都合があった。

【0011】 さらに、一般にセラミックス材は金属材に比べて強度が低いため、セラミックスを用いた動圧軸受をノートパソコン等の携帯機器に使用すると、軸受部に衝撃が加わった場合に破損しやすいという問題があった。

【0012】 また、動圧軸受では、流体膜を安定して保持させるために、動圧発生溝の底面を滑らかにしておく必要があるが、セラミックス材にショットブラスト法で形成した動圧発生溝では、底面の表面粗さを中心線平均粗さ ( $R_a$ ) で  $1\text{ }\mu\text{m}$  程度、即ち最大高さ ( $R_{\text{max}}$ ) で  $4\text{ }\mu\text{m}$  程度にしか加工できなかった。

**【0013】**

【課題を解決するための手段】 そこで、本発明は、ヤング率  $200\text{ GPa}$  以上、 $40\sim 400^\circ\text{C}$  の熱膨張係数  $9.0\sim 11.0\times 10^{-6}/^\circ\text{C}$ 、摺動相手材とのビッカース硬度の差が  $7\text{ GPa}$  以下の範囲にあるセラミックス

10

20

30

40

50

からなり、摺動面に動圧発生溝を備えて動圧軸受を構成したことを特徴とする。

【0014】即ち、シャフトと軸受の一方を上記セラミックスの動圧軸受で形成し、他方を金属材で形成すれば、動圧軸受の熱膨張係数を上記範囲内とすることにより、金属材との熱膨張差を小さくし、温度変化が生じても熱膨張差による不都合を解消できる。しかも、摺動相手の金属材とのビッカース硬度の差を7 GPa以下とすることによって、硬度差が比較的小さいために、低速回転時に摺動しても相手材の摩耗を少なくすることができる。

【0015】また、本発明は、上記セラミックスとして、曲げ強度700 MPa以上、平均結晶粒径4  $\mu$ m以下、理論密度に対する相対密度が98%以上のジルコニアセラミックスを用いたことを特徴とする。

【0016】ここで、曲げ強度700 MPa以上のジルコニアセラミックスを用いたのは、曲げ強度が700 MPa未満であると、外部からの衝撃により破損しやすく、軸受やモーターとしての機能を果たさなくなるためである。さらに、加えて、上記ジルコニアセラミックスは破壊靱性が5.0 MPa $\sqrt{m}$ 以上であるものが好ましい。これは、破壊靱性が5.0 MPa $\sqrt{m}$ 未満であると、動圧発生溝の周囲等に欠けが生じやすく、欠けた破片が原因でモーターがストップしたり、安定した動圧効果が得られないという問題が発生するためである。

【0017】また、平均結晶粒径を4  $\mu$ m以下、相対密度を98%以上としたのは、平均結晶粒径が4  $\mu$ mより大きいと、又は相対密度が98%未満であると、動圧発生溝の底面を滑らかにすることができず、動圧発生溝の溝深さを高精度に加工できないことから、安定した動圧効果が得られず回転ふれが大きくなるという問題が発生するためである。より好ましくは、平均結晶粒径は3  $\mu$ m以下、さらには0.5  $\mu$ m以下が良い。また相対密度は99.0%以上が好ましい。

【0018】また、本発明は、上記動圧発生溝の底面の表面粗さ(Rmax)が1.5  $\mu$ m以下であることを特徴とする。

【0019】即ち、底面を上記のような滑らかな面とすることによって、流体膜を安定して発生させ、シャフトの回転振れを小さくすることができる。

#### 【0020】

【発明の実施の形態】以下、本発明の実施形態をVTR用スピンドルモータの動圧軸受装置を例にして説明する。

【0021】図1に示すように、動圧軸受装置は、回転体を取り付けたシャフト1、動圧スラスト軸受2およびスリーブ3とからなり、該シャフト1を固定軸にしてスリーブ3が回転するようになっている。また、該スリーブ3の内周もしくは該シャフト1の外周いずれかにヘリシングボーン形状の溝4が形成されてラジアル方向の動圧

軸受を構成し、動圧スラスト軸受2の摺動面にはスパイラル状の溝2aが形成されてスラスト方向の動圧軸受を構成している。

【0022】そのため、回転時には動圧効果により非接触状態となるが、スタート・ストップ時や低速回転時には、シャフト1の先端が動圧スラスト軸受2と摺動するようになっており、回転体の全荷重がシャフト1の先端と動圧スラスト軸受2に負荷として加わることになる。

【0023】そして、このスラスト軸受2が、ヤング率200 GPa以上、熱膨張係数 $9.0 \sim 11.0 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$  (40 $\sim$ 400 $^{\circ}\text{C}$ )、摺動相手材とのビッカース硬度の差が7 GPa以下の範囲にあるセラミックスより形成されている。また、シャフト1はステンレス等の金属材で形成されている。

【0024】そのため、ヤング率200 GPa以上の高剛性であることから、溝2aを高精度に加工することができる。また、熱膨張係数が、 $9.0 \sim 11.0 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$ であることから、シャフト1を構成するステンレス (熱膨張係数 $10.5 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$ ) との熱膨張差が小さく、高温時でも隙間の変化を小さくすることができる。

【0025】さらに、このスラスト軸受2を成すセラミックスは、摺動相手であるシャフト1を成す金属とのビッカース硬度の差を7 GPa以下にしておくことにより、低速回転時に両者が摺動しても、シャフト1側の摩耗を小さくすることができる。

【0026】このようなスラスト軸受2を成すセラミックスとしては、特に曲げ強度700 MPa以上、さらには破壊靱性5.0 MPa $\sqrt{m}$ 以上のジルコニアセラミックスが好ましい。

【0027】このジルコニアセラミックスは、40 $\sim$ 400 $^{\circ}\text{C}$ の熱膨張係数が $10.5 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$ とステンレス (熱膨張係数 $10.5 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$ ) とほぼ同等である。また、このジルコニアセラミックスは、ビッカース硬度が12.3 GPaと、シャフト1を成すステンレス (ビッカース硬度6.4 GPa) との差が5.9 GPaになり、上述した7 GPa以下の差であることから、シャフト1側の摩耗を小さくできる。

【0028】また、このように高強度、高靱性のジルコニアセラミックスを用いれば、外部から強い衝撃が加わったり、装置を落下させてしまったりした場合でも、スラスト軸受2が破損する恐れはなく、モーターの回転に支障を生じることなく、長期にわたって良好に使用することができる。なお、このように強度、靱性が高いことから、本発明の動圧軸受は、VTRのスピンドルモータの他、デスクトップ型や持ち運びをするノート型パソコンのHDDやFDD、LBPのスピンドルモータ等に用いることができる。

【0029】さらに、上記スラスト軸受2を成すジルコニアセラミックスは、平均結晶粒径4  $\mu$ m以下、理論密

度に対する相対密度 98%以上としてあることが好ましく、これにより、ショットブラスト等で溝 2 a を加工した際に、その底面の表面粗さを最大高さ(Rmax)で 1.5  $\mu\text{m}$  以下とすることができる。その結果、動圧発生のための流体膜を安定して発生させることができる。その結果、スピンドルモーターの回転振れを小さくすることができる。

【0030】例えば、磁気記録装置の分野では、記録密度向上のため 1 インチあたりのトラック数が年々増えてきている。そのためにはスピンドルモーターのふれが小さいことが不可欠であるが、上述した本発明の動圧軸受を用いれば、動圧発生溝の溝深さを高精度に加工し、溝底の表面粗さを滑らかにできることから、安定した動圧効果を得てスピンドルモーターの回転振れが小さくなり、ハードディスク等の記録密度を向上させることができる。

【0031】なお、以上の実施形態では、動圧軸受を構成する動圧スラスト軸受 2 を上記のジルコニアセラミックスで形成し、シャフト 1 を金属で形成したが、逆にすることもできる。あるいは、ラジアル方向の軸受についても、同様にシャフト 1、スリーブ 3 の一方を上記のジルコニアセラミックスで形成することもできる。

【0032】例えば、シャフト 1 を上記ジルコニアセラミックスで形成し、スリーブを上記のステンレス材で形成した場合、両者の隙間は数  $\mu\text{m}$  程度と極めて小さく、また使用時にはモーター内部の温度は 100℃にも達するが、上述したように両者の熱膨張係数が同等であるため、シャフト 1 とスリーブ 3 との隙間は大きく変化せず、モーターの回転に支障を生じることなく、長期にわたって良好に使用することができる。

【0033】また、上記の例では、ジルコニア製動圧軸受の摺動相手材としてステンレスを用いたが、相手材としてその他の金属材やセラミックス等を用いた場合でも同様である。

【0034】ところで、本発明で用いるジルコニアセラミックスは、 $\text{ZrO}_2$  を主成分とし、安定化剤として  $\text{Y}_2\text{O}_3$ 、 $\text{MgO}$ 、 $\text{CaO}$ 、 $\text{CeO}_2$ 、 $\text{Dy}_2\text{O}_3$  等の一種以上を含有し、正方晶の結晶を主体としたものを用いる。特に、安定化剤として  $\text{Y}_2\text{O}_3$  を 2~4 モル%含有するもの、 $\text{CeO}_2$  -  $\text{Dy}_2\text{O}_3$  を合計で 5~8 モル%含有するもの、 $\text{MgO}$  を 8~15 モル%含有するものが好ましい。

【0035】そして、上記組成の原料粉末を用いて公知のプレス成形法等で所定形状に成形し、得られた成形体を 1300~1500℃で焼成し、その表面に動圧発生溝を加工することによって、本発明の動圧軸受を得ることができる。

【0036】この時、原料粉末の粒径や、焼成条件を調整することによって、最終的な焼結体の平均結晶粒径を 4  $\mu\text{m}$  以下、好ましくは 3  $\mu\text{m}$  以下、さらに好ましくは

0.5  $\mu\text{m}$  以下とし、かつ理論密度に対する相対密度を 98%以上、好ましくは 99%以上となるようにする。

【0037】また、得られた焼結体の表面に動圧発生溝を形成する場合は、ショットブラスト法を用いる。例えば、動圧スラスト軸受 2 の場合、平板状のジルコニアセラミックスの表面にスパイラル状の溝 2 a に合致した形状のマスキングを形成しておいて、この上からショットブラスト加工を施すことによって、所定形状の溝 2 a を形成することができる。また、この時、ジルコニアセラミックスの平均結晶粒径が 4  $\mu\text{m}$  以下であり、かつ相対密度が 98%以上であることによって、ショットブラストによる溝 2 a の深さを高精度に加工することができ、その底面の表面粗さを最大高さ(Rmax) 1.5  $\mu\text{m}$  以下と滑らかにすることができる。

【0038】さらに、このようにして形成した溝 2 a のエッジ部に微小な C 面又は R 面の面取りを形成すれば、エッジ部のチッピングを防止することができ、より好適である。

#### 【0039】

##### 【実施例】実験例 1

まず、本発明の動圧軸受を構成する金属製のシャフト 1 と、セラミックス製の動圧スラスト軸受 2 との耐摩耗性及び摺動性を調べるため、ボール・オン・ディスク型の摩擦摩耗試験を用いた基礎試験を行った。

【0040】本発明実施例として表 1 中ジルコニアセラミックスの試料を用意し、比較例としてアルミナ系セラミックス、窒化珪素系セラミックス、炭化珪素系セラミックスの各試料を用意した。

【0041】各試料を、乾式無潤滑下の状態で、相手材にステンレス (SUS304: ビッカース硬度 6.4 GPa) のボールを用いて、荷重 0.1 Kg、相対摺動速度 0.1~5 m/s で摺動試験を行い、摩擦係数、各試料の摩耗量、相手材の摩耗量を測定した結果を表 1 に示す。なお、結果は、速度 0.1 m/s でのジルコニアセラミックスの摩擦係数、摩耗量、相手材摩耗量をそれぞれ 1 とした場合の比率で示した。また、各材質について、ボールを成すステンレスとのビッカース硬度の差も求めた。

【0042】表 1 から明らかなように、比較例である No. 2~4 は、ビッカース硬度の差が 7 GPa を超えるため、相手材 (ボール) の摩耗量が大きかった。これに対し、本発明実施例の No. 1 では、ビッカース硬度の差が 7 GPa 以下であることから、低速での相手材の摩耗量が小さく、摩擦係数も低かった。なお、本発明実施例では、高速領域での相手材の摩耗量が大きかったが、動圧軸受で最も重要なのはシャフトと軸受が接触する低速領域での摺動であり、高速領域においては動圧効果により既にシャフトは浮上し非接触の状態になるため何等問題はない。

【0043】また、各材質の 40~400℃の熱膨張係

数を比較したところ、ステンレスの熱膨張係数が  $10.5 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$  であるのに対し、アルミナは  $7.1 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$ 、炭化珪素は  $4.0 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$ 、窒化珪素は  $2.6 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$  といずれも熱膨張差が大きかった。

これに対し、ジルコニアセラミックスの熱膨張係数は  $10.5 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$  とステンレスとほぼ同等であった。

【0044】

【表1】

	No	材質	硬度差 (GPa)		速度 (m/s)				
					0.1	0.5	1.0	3.0	5.0
本 発 明  比 較 例	1	ジルコニア	5.9	摩擦係数 摩耗量 相手材摩耗量	1 1 1	2 1 1	2 1 1	2 1 68	1 1 56
	2	アルミナ	10.3	摩擦係数 摩耗量 相手材摩耗量	3 5 23	3 1 94	3 10 19	3 8 44	2 5 68
	3	窒化珪素	7.8	摩擦係数 摩耗量 相手材摩耗量	3 96 19	4 117 25	3 143 167	2 1 63	2 1 70
	4	炭化珪素	17.1	摩擦係数 摩耗量 相手材摩耗量	3 1 5	3 1 2	3 10 7	3 26 31	2 13 25

#### 【0045】実験例2

次に、図1に示す動圧スラスト軸受2を様々な材質で形成し、その耐衝撃性を調べるための衝撃試験と、動圧発生溝の溝底の表面粗さの違いによるモーターの回転ふれ量の違いを測定する試験を行った。

【0046】本発明実施例として、表2のNo. 1～3に示すように、安定化剤として3モル%の $\text{Y}_2\text{O}_3$ を含有した部分安定化ジルコニアセラミックスを用い、その焼成条件を変化させることによって、平均結晶粒径等の異なるものを用意した。また比較例として、表2のNo. 4～8に示すジルコニア以外の各種材料、及びNo. 9～11に示すようにジルコニアセラミックスであっても相対密度、曲げ強度、平均結晶粒径が本発明の範囲外であるものを用意した。

【0047】それぞれ、 $3\text{mm} \times 4\text{mm} \times 50\text{mm}$ の試験片を準備し、スパン $30\text{mm}$ で3点曲げにて曲げ強度を測定した。また、破壊靱性値は圧痕法によるクラックの大きさより算出し、平均結晶粒径はコード法にて測定した。さらに、各成分の重量比から理論密度を算出し、実際に測定した見掛け比重との比により相対密度を算出した。

【0048】なお、この実験例では、曲げ強度はJISに規定する試験片で測定したが、最終製品である動圧スラスト軸受2で測定する場合は、この動圧スラスト軸受2自身又はこれを所定形状に加工したものをを用いて同様の曲げ試験を行い、得られた値を公知の手法によってJIS試験片での強度に変換すればよい。

【0049】次に、各種材料を用いて、直径 $10\text{mm}$ 、厚み $1\text{mm}$ の動圧スラスト軸受2を形成し、その表面にショットブラスト法にて深さ $5\mu\text{m}$ の溝2aを形成した。この溝2aの底面を表面粗さ計で測定して最大高さ

(Rmax)を求め、また同じ表面粗さ計で複数の溝2aの深さを調べ、そのバラツキ量を求めた。

【0050】その後、この動圧スラスト軸受2を図1の装置に組み込んで、 $300\text{G}$ の衝撃試験を行った。また、各試料をスピンドルモーターに組み込んで $5000\text{rpm}$ で回転させたときのシャフト1の回転振れ量を測定し、さらにスタート・ストップ試験を10万サイクル行った後の状態を調べた。これらの結果を表3に示す。表2、3から明らかなように、比較例のNo. 4～10の曲げ強度が $700\text{MPa}$ 以下のものは、衝撃試験の結果、変形、割れ、欠け、クラックを発生していた。また、No. 4～7、9のものは、スタート・ストップ試験の結果、負荷電流が増加したり、モーターがストップする等の不都合があった。さらに、比較例のNo. 11は、平均結晶粒径が $4\mu\text{m}$ を越えるため溝底面の表面粗さ(Rmax)が $2\mu\text{m}$ と大きく、その結果シャフトの回転振れが $0.15\mu\text{m}$ と大きいものであった。

【0051】これらに対し、本発明実施例であるNo. 1～3は、曲げ強度 $700\text{MPa}$ 以上、破壊靱性 $5.0\text{MPa}\sqrt{\text{m}}$ 以上であるため、衝撃試験後も異常がなかった。また、平均結晶粒径 $4\mu\text{m}$ 以下、相対密度98%以上であるため、溝2aの深さバラツキを $1.0\mu\text{m}$ と小さくでき、溝2aの底面の表面粗さ(Rmax)を $1.5\mu\text{m}$ と滑らかにすることができた。その結果、シャフトの回転振れ量を $0.1\mu\text{m}$ 未満と極めて小さくすることができ、スタート・ストップ試験の結果も異常がなかった。

【0052】特に、No. 1、2のように相対密度99%以上、平均結晶粒径 $0.5\mu\text{m}$ 以下としたものは、特に強度、靱性を高くすることができ、好適であった。

【0053】

【表2】

	No	材 質	相対 密度 (%)	曲げ 強度 MPa	破壊 靱性 (MPa√m)	平均 結晶粒径 (μm)	溝深さ μm	溝底 粗さ (μm)
本 発 明	1	ジルコニア	99.5	980	6.7	0.3	1.0	1.5
	2	ジルコニア	99.0	1370	5.9	0.3	1.0	1.5
	3	ジルコニア	98.7	880	5.3	3.0	1.0	1.5
比 較 例	4	SKH	—	—	—	—	1.0	3.0
	5	アルミナ	—	270	3.5	4.1	1.5	4.5
	6	アルミナ	—	320	3.7	3.8	1.5	4.0
	7	珪酸カルシウム	—	320	2.0	2.5	1.0	3.5
	8	窒化ケイ素	—	590	5.7	4.1	1.0	4.0
	9	ジルコニア	97.2	500	4.7	2.0	1.5	4.0
	10	ジルコニア	98.4	560	5.2	2.5	1.0	3.0
	11	ジルコニア	99.2	730	6.7	4.2	1.0	2.0

【0054】

【表3】

	No	材 質	衝撃試験 結果	回転ふれ (μm)	スタートストップ試験 によるモーター の状態
本 発 明	1	ジルコニア	異常なし	< 0. 1	異常なし
	2	ジルコニア	異常なし	< 0. 1	異常なし
	3	ジルコニア	異常なし	< 0. 1	異常なし
比 較 例	4	SKH	変形	0. 2	負荷電流 3 倍に増加
	5	アルミナ	スラスト割れ	0. 5	5 万サイクルでストップ
	6	アルミナ	スラスト割れ	0. 4	6 万サイクルでストップ
	7	珪酸カルシウム	スラスト割れ	0. 3	2 万サイクルでストップ
	8	窒化ケイ素	溝部欠け大	0. 4	異常なし
	9	ジルコニア	クラック	0. 4	8 万サイクルで異常音
	10	ジルコニア	クラック	0. 2 5	異常なし
	11	ジルコニア	異常なし	0. 1 5	異常なし

【0055】

【発明の効果】このように、本発明によれば、ヤング率 200 GPa 以上、熱膨張係数  $9.0 \sim 11.0 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$  (40~400℃)、摺動相手材とのビッカース硬度の差が 7 GPa 以下の範囲にあるセラミックスからなり、摺動面に動圧発生溝を備えて動圧軸受を構成したことによって、温度変化が生じてても熱膨張差による不都合を解消することができ、しかも、低速回転時に摺動しても相手材の摩耗を少なくすることができる。

【0056】また、本発明によれば、曲げ強度が 700 MPa 以上、平均結晶粒径が 4 μm 以下、相対密度 98 % 以上のジルコニアセラミックスからなり、表面に動圧

発生溝を備えて動圧軸受を構成したことによって、耐衝撃性を向上させ、回転振れを小さくし、高い信頼性と長寿命化をもたらす動圧軸受を得ることができる。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明実施形態の動圧軸受装置を示す縦断面図である。

【符号の説明】

- 1：シャフト
- 2：動圧スラスト軸受
- 3：スリーブ
- 4：動圧ラジアル軸受

【図 1】

